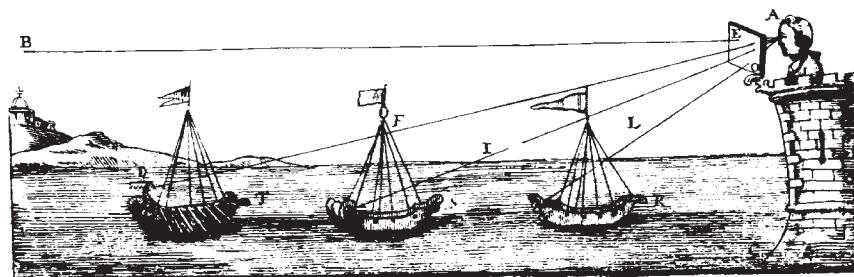


INVESTIGACIÓN DIDÁCTICA



EL PENSAMIENTO DE ORDEN SUPERIOR EN LAS CLASES DE CIENCIAS: OBJETIVOS, MEDIOS Y RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN

ZOHAR, ANAT

The Hebrew University of Jerusalem
msazohar@mscc.huji.ac.il

Resumen. El aprendizaje de las ciencias provee un contexto maravilloso para desarrollar el pensamiento crítico y el pensamiento científico en los estudiantes. El pensamiento crítico y científico en temas de ciencias contribuye a la construcción de conocimiento significativo porque alienta a los estudiantes a procesar los temas de ciencias aprendiendo a ser pensadores activos. En el proyecto *Thinking in Science Classrooms* (TSC, «Pensando en las clases de ciencias») se integra la enseñanza de estrategias de pensamiento con temas que forman parte del currículo escolar usual. Se hacen explícitos principios generales que corresponden a estrategias de pensamiento aplicando actividades metacognitivas en el aula. Este artículo explica los fundamentos del proyecto TSC y resume los resultados de investigaciones que muestran que este proyecto genera mejoras en las habilidades de razonamiento de los estudiantes y en sus conocimientos científicos. Tanto los estudiantes de alto rendimiento académico como los de bajo rendimiento se benefician con el proyecto TSC. Finalmente, los resultados muestran que la enseñanza explícita del conocimiento metaestratégico es una poderosa herramienta educativa para mejorar el pensamiento de los estudiantes con bajo rendimiento académico.

Palabras clave. Pensamiento de orden superior, enseñar a pensar, metacognición, conocimiento metaestratégico, estudiantes de bajo rendimiento académico.

Higher order thinking in science classrooms: goals, means and research findings

Summary. Science learning provides a wonderful context for developing students' critical and scientific thinking. Critical and scientific thinking within science topics contributes to meaningful knowledge construction because it encourages students to process the science topics they learn by being active thinkers. In the *Thinking in Science Classrooms* (TSC) project instruction of thinking strategies is integrated with topics that constitute the regular school curriculum. General principles pertaining to thinking strategies are made explicit by applying metacognitive activities in the classroom. This article explains the rationale for the TSC project. It then summarizes research findings showing that the TSC project induces gains in students' reasoning abilities and in their science knowledge. Students with both high and low academic achievements benefit from the TSC project. Finally, the findings show that explicit teaching of meta-strategic knowledge is a powerful educational tool for advancing the thinking of students with low academic achievements.

Keywords. Higher order thinking, teaching for thinking, metacognition, metastrategic knowledge, low academic achievers.

¿POR QUÉ ENSEÑAR A PENSAR?

Varias razones de peso apoyan la visión de que el desarrollo del pensamiento de los estudiantes debe llegar a ser un componente importante de la educación científica. En primer lugar, el desarrollo del pensamiento de orden superior de los estudiantes es una de las metas centrales de la escolarización en el siglo XXI. Pensar bien es un prerequisite para ser un ciudadano crítico en una sociedad auténticamente democrática. También es una condición necesaria para ser capaces de hacer frente competentemente a las vastas cantidades de información que son uno de los sellos distintivos de esta generación y de manejar las nuevas tecnologías de la información. Dada la naturaleza especial de las asignaturas científicas, el aprendizaje de las ciencias provee un entorno excelente para el desarrollo de las habilidades de pensamiento.

En segundo lugar, enseñar a pensar contribuye a la construcción significativa de conocimiento científico. En vez de enfocarse en el aprendizaje repetitivo y en la memorización de hechos, los estudiantes que resuelven problemas, discuten cuestiones científicas y llevan adelante indagaciones se involucran en *un pensamiento activo* sobre diversos temas. Este pensamiento los ayuda a establecer conexiones entre conceptos y a construir representaciones mentales. El aprendizaje se vuelve más desafiante, interesante y motivador y puede desembocar en una comprensión y una retención mejoradas.

Finalmente, las dos razones expuestas convergen para alcanzar una de las metas principales de la educación científica en el siglo XXI, a saber, promover la alfabetización científica entre los estudiantes. Varios currículos recientes de todo el mundo (Nuffield Curriculum Center, 2002; Qualifications and Curriculum Authority, sitio web revisado en 2005; American Association for the Advancement of Science, 1993; National Research Council, 1996) enfatizan la necesidad de que en el siglo XXI *todos* los estudiantes aprendan ciencias en una forma que les permita evaluar críticamente cuestiones científicas y tecnológicas innovadoras. Para poder lograr esto, los estudiantes necesitan una «alfabetización científica» centrada en las comprensiones profundas que el público requiere si pretende participar en la toma de decisiones científicas y tecnológicas del mundo de hoy. Como se explicó más arriba, la forma de conseguir una alfabetización científica y una comprensión profunda es a través del aprendizaje por indagación, la argumentación, la toma de decisiones y el pensamiento crítico, es decir, a través de los elementos de los que se compone el pensamiento de orden superior.

¿QUÉ ES EL «PENSAMIENTO DE ORDEN SUPERIOR»?

Dado que la expresión «pensamiento de orden superior» (*higher order thinking*) es usada frecuentemente en este artículo, es importante clarificar su significado exacto. Esto, sin embargo, no es trivial porque no hay consenso entre los investigadores alrededor de una definición precisa. De hecho, las varias definiciones de pensamiento y el número

de opciones disponibles pueden llevar a confusión (Marzano et al., 1988). Refiriéndose a esta confusión, Resnick (1987) escribió que las habilidades de pensamiento resisten formas precisas de definición. Según este autor, algunas características clave del pensamiento de orden superior no pueden ser definidas exactamente; sin embargo, se pueden reconocer las habilidades de pensamiento de orden superior cuando ocurren. Algunas de las características que Resnick atribuye a dicho pensamiento son las siguientes: no es algorítmico, tiende a ser complejo, a menudo produce soluciones múltiples e involucra la aplicación de criterios múltiples, incerteza y autorregulación. La expresión «habilidades (o estrategias, o patrones) de pensamiento de orden superior» también puede ser usada para definir cualquier actividad cognitiva que esté más allá de la comprensión o de la aplicación de nivel inferior en la taxonomía de Bloom (1954). Con base en esta taxonomía, la memorización y la recuperación de información son clasificadas como pensamiento de orden inferior, mientras que analizar, sintetizar y evaluar son clasificados como de orden superior. Otros ejemplos de actividades cognitivas que se clasifican como de orden superior incluyen argumentar, hacer comparaciones, resolver problemas no algorítmicos complejos, trabajar con controversias e identificar suposiciones subyacentes. La mayor parte de las habilidades de indagación científica clásicas, tales como formular preguntas de investigación, proponer hipótesis, planear experimentos o sacar conclusiones, también se clasifican como pensamiento de orden superior. Está justificado agrupar tan variadas actividades cognitivas dentro de la misma categoría de «habilidades de pensamiento de orden superior» porque, a pesar del hecho de que son muy diferentes entre sí, todas tienen las características que Resnick (1987) atribuye a esas habilidades. Además, pueden ser identificadas con niveles distintos a la recuperación de información y a la comprensión en la taxonomía de Bloom.

CÓMO ENSEÑAR A PENSAR: IDEAS PRINCIPALES DEL PROYECTO *THINKING IN SCIENCE CLASSROOMS* (TSC, «PENSAR EN LAS CLASES DE CIENCIAS»)

Hay numerosas maneras de enseñar a pensar y en el proyecto *Thinking in Science Classrooms* (TSC, «Pensando en las clases de ciencias») (Zohar, 2004), que constituye el eje de este artículo, se adopta la aproximación por infusión (Ennis, 1989). De acuerdo con esta aproximación, la enseñanza de las estrategias de pensamiento se integra con los temas que constituyen el currículo escolar usual. Estos temas son estudiados en profundidad mientras los estudiantes participan de tareas que requieren la resolución de problemas, la indagación y la argumentación en el contexto de contenidos escolares específicos. Creemos que combinar la enseñanza de habilidades con la enseñanza del contenido disciplinar concreto mejora dos aspectos del aprendizaje: el pensamiento y la comprensión conceptual.

La idea central detrás del proyecto TSC es abordar la enseñanza de las ciencias desde dos perspectivas diferentes (pero

complementarias): contenido y pensamiento. La mayor parte del profesorado prepara sus unidades con la mirada puesta en una lista de objetivos de contenido, por lo que sugerimos una lista adicional formada por objetivos de pensamiento.

La idea de considerar el pensamiento como un objetivo educativo importante está lejos de ser nueva, no hay nada de revolucionario en ella. La mayor parte del profesorado incorpora algún grado de aprendizaje por indagación en sus clases. También los profesores y profesoras están al tanto de la necesidad de comprometer a sus estudiantes en tareas más allá de recordar información. ¿Por qué, entonces, necesitamos un proyecto especial cuyo objetivo sea la integración de pensamiento de orden superior en el currículo escolar?

Si se compara el proyecto TSC con un típico currículo de ciencias estándar, aparecen tres diferencias principales que pueden parecer sutiles pero que son potencialmente poderosas:

- a) El proyecto TSC *aumenta* la cantidad de tareas que requieren que los estudiantes lleven adelante procedimientos cognitivos que involucren el pensamiento de orden superior.
- b) El proyecto TSC se refiere a los objetivos de pensamiento como a una clase distinta de objetivos educativos que requieren ser enseñados de forma específica.
- c) El proyecto TSC se propone enseñar objetivos de pensamiento de manera explícita y sistemática.

Explicaré cada una de estas diferencias. Primeramente, aunque la mayoría del profesorado incorpora algún grado de aprendizaje por indagación en sus clases y a veces involucra a los estudiantes en tareas que requieren pensamiento de orden superior, la investigación muestra que tales actividades no son frecuentes en muchas aulas. Aumentar la frecuencia de actividades que requieran que los niños y niñas piensen puede parecer sólo una cuestión de cantidad, pero también podría constituir una diferencia cualitativa en la naturaleza de la enseñanza. Hacer del pensamiento un componente central de la rutina diaria de clases crea un tipo muy diferente de aprendizaje a aquél que se da en las aulas en las que el profesor o profesora se centra en la transmisión de información y las actividades de pensamiento son sólo ocasionales.

En segundo lugar, los profesores y profesoras raramente ven los objetivos de pensamiento como objetivos educativos diferenciados. Por tanto, usualmente no se implementan estrategias especiales para enseñar a pensar. El profesorado de ciencias sabe que, cuando se embarca en la complicada tarea de enseñar conceptos científicos complejos, debe invertir mucha reflexión y mucha energía. Pero rara vez se hacen consideraciones tan cuidadosas para los objetivos de pensamiento. Los procesos de pensamiento no son menos complejos que los conceptos científicos y también merecen una consideración cuidadosa. El proyecto TSC ve la enseñanza de patrones de pensamiento como un objetivo educativo explícito, lo que hace posible diseñar actividades de aprendizaje cuidadosas pensadas precisamente con el propósito de ayudar a los estudiantes

a desarrollar su pensamiento. Esas actividades de aprendizaje son el núcleo del proyecto TSC.

La tercera característica del proyecto TSC es que apunta a enseñar objetivos de pensamiento de una forma sistemática. Esto significa que la enseñanza está planeada de forma tal que cada habilidad de pensamiento se repite varias veces, en diferentes contextos y a través de diferentes tipos de tareas. Según las referencias disponibles, ese aprendizaje sistemático debería potenciar la transferencia lejana, esto es, debería permitir transferir las estrategias a temas que son significativamente diferentes del tema en el cual fueron enseñadas.

COMBINAR EL PROYECTO TSC CON EL CURRÍCULO ESCOLAR USUAL USANDO LAS ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE DEL TSC

El proyecto TSC (Zohar, 2004) no requiere que las escuelas abandonen el currículo al cual están habituadas y se comprometan con un programa totalmente diferente. Más bien, les ofrecemos enseñar el mismo currículo usando medios alternativos. Nuestra unidad básica es la *actividad de aprendizaje*: una tarea que requiere pensar dentro de un tema científico particular. El proyecto consiste en un conjunto de actividades de aprendizaje que el profesorado puede integrar en su enseñanza habitual cuando llegue a un tema cubierto por una de ellas. El resultado de usar un número considerable de actividades de aprendizaje es una enseñanza transformada, que hace que los estudiantes participen sostenidamente de un pensamiento profundo, activo.

Como se explicó más arriba, diseñamos varios tipos de actividades para potenciar la transferencia y evitar patrones fijos de aprendizaje que podrían eventualmente conducir a los estudiantes a enfrentarlos en una forma meramente algorítmica. Se diseñaron los siguientes tipos de actividades de aprendizaje:

Actividades que se hacen después de las experiencias de laboratorio

Se consideran las experiencias que los estudiantes llevan a cabo en la escuela ciencia «práctica» (*hands on*). Pero muy a menudo, este acercamiento práctico a la ciencia no requiere pensar teóricamente. En otras palabras, los estudiantes están a menudo tan absorbidos por los aspectos técnicos de la experimentación, preocupándose sobre cómo medir y cómo no dejar caer material de laboratorio frágil, que nunca llegan a *pensar* sobre lo que están haciendo. Las actividades de aprendizaje TSC incluyen tareas que siguen a las experiencias prácticas rutinarias, poniendo énfasis en varios elementos del razonamiento científico y del pensamiento crítico.

Invitación a la indagación

Las experiencias que los estudiantes llevan adelante en la escuela tienden a ser simples a causa de las limitaciones de equipamiento y de tiempo. Las experiencias escolares tienden por ello a ser «débiles» en términos del razonamiento científico y de complejidad lógica, comparadas con muchos de los experimentos hechos por los científicos. Se diseñaron

las invitaciones a la indagación del proyecto TSC siguiendo las sugerencias hechas por Schwab en la década de los sesenta, es decir, pidiendo a los estudiantes que tomen parte en investigaciones complejas (Schwab, 1963). Una invitación a la indagación presenta una narrativa que describe una experiencia. La narrativa puede consistir en experimentos históricos verdaderos, a veces clásicos, o experimentos ficticios. En ambos casos, se divide la historia en varios segmentos que se presentan uno a uno a los estudiantes. A ellos se les pide que «se pongan en la piel de los científicos» para resolver varios problemas derivados de cada segmento. De hecho, se les pide que realicen simulaciones de experimentos «por vía seca» (esto es, sin llevarlos a cabo realmente); estos experimentos enfocan la atención de los estudiantes en cuestiones que requieren activar el pensamiento.

Evaluación crítica de recortes de periódicos (incluyendo anuncios)

Los recortes de periódicos y los artículos de divulgación científica a menudo incluyen fuentes de información poco fiables, información equivocada, afirmaciones no apoyadas en evidencias, estereotipos y argumentaciones con falacias lógicas. Estas actividades de aprendizaje piden a los estudiantes que lean recortes de periódicos relacionados con cuestiones que aprenden en las clases de ciencias. Seguidamente se presenta una serie de preguntas que animan un examen crítico de los artículos. Por ejemplo, cuando los estudiantes están estudiando nutrición, se les presentan recortes de periódicos que muestran publicidades de dietas, y ellos han de comparar la información incluida en los anuncios con lo que han aprendido durante sus estudios.

Investigación de micromundos

Se diseñó un conjunto de sencillas simulaciones por ordenador con el propósito de desarrollar habilidades de pensamiento específicas. Los estudiantes investigan estos micromundos llevando a cabo experiencias simuladas a través del uso de guías de actividades.

Argumentación

Se diseñó un conjunto de actividades con el foco puesto en el objetivo de fomentar las habilidades de argumentación a través de dilemas bioéticos. Después de la presentación de un tema biológico, se define un dilema ético. Se pide a los estudiantes que argumenten, justifiquen y formulen contraargumentos y refutaciones.

Actividades abiertas de aprendizaje por indagación

Son una serie de actividades que consisten en investigaciones abiertas. Los estudiantes, en grupos, formulan sus propias preguntas de investigación, planean medios a través de los cuales podrán contestarlas, llevan a cabo experimentos o encuestas, sacan conclusiones y presentan sus investigaciones al grupo plenario.

Un surtido de actividades de aprendizaje a pequeña escala

Éstas son nuestras actividades más cortas y más variadas. Pueden incluir una o más preguntas «para

pensar» que se agregan a una lección «usual». Éstas son las menos estructuradas de nuestras actividades, y quizás las más cercanas a lo que el profesorado a menudo hace como parte de su enseñanza usual, fuera del proyecto TSC.

Más abajo se describe un ejemplo detallado de actividad de aprendizaje. Ejemplos detallados de otras actividades pueden verse en Zohar (2004).

LA METACOGNICIÓN EN EL PROYECTO TSC

Otro sello distintivo del proyecto TSC es el uso de la metacognición. *Metacognición* es un concepto amplio, definido como pensamiento de segundo orden o pensamiento sobre el pensamiento. Muchas de las aplicaciones educativas de la metacognición se sustentan en la función de hacer conscientes, a los estudiantes, de los propios procedimientos cognitivos y de controlar y regular los propios procesos de pensamiento. Estudios empíricos recientes apoyan la idea de que el uso de la metacognición puede mejorar el aprendizaje de la indagación y de las habilidades de pensamiento de orden superior (Adey et al., 1989; Adey y Shayer, 1993, 1994; Adey, 1999; Grotzer y Perkins, 2000; Lin y Lehman, 1999; Kuhn et al., 2000; Kuhn y Pearsall, 1988, Schoenfeld, 1992; White y Frederiksen, 1998; 2000; Zion y Mevarech, 2005; Zohar et al., 1994, 2002).

Otra cuestión importante es el posible valor de la metacognición para estudiantes con bajo rendimiento académico. White y Frederiksen (1998, 2000) encontraron que el efecto de tratar explícitamente el conocimiento metacognitivo durante la enseñanza es incluso mayor para estudiantes con bajo rendimiento académico que para estudiantes con alto rendimiento. La explicación para este resultado es que los estudiantes con logros académicos más altos a menudo se las arreglan para construir un conocimiento metacognitivo por sí mismos; sin embargo, los estudiantes de más bajo rendimiento son menos capaces de conseguirlo. Las intervenciones que se enfocan en el conocimiento metacognitivo marcan, por tanto, mayores diferencias en su pensamiento.

El proyecto TSC emplea un componente de la metacognición bastante específico: el *conocimiento metaestratégico* (CME), definido como un conocimiento general y explícito sobre los procedimientos cognitivos que se están utilizando. Los procedimientos cognitivos a los que hacemos referencia con CME están constituidos por habilidades y estrategias de pensamiento de orden superior. El conocimiento metacognitivo pertinente es una conciencia explícita del tipo de procedimientos cognitivos que se usan en cada caso. Consiste en las siguientes capacidades: hacer generalizaciones y establecer reglas con respecto a una estrategia de pensamiento, dar nombre a la estrategia, explicar cuándo, por qué y cómo debería ser usada esa estrategia y cuándo no debería ser usada, reconocer cuáles son las desventajas de no usar la estrategia apropiada y qué características de la tarea requieren del uso de una estrategia particular (Kuhn,

1999, 2000a, 2001). Es importante notar que el CME en el proyecto TSC tiene un fuerte componente lingüístico porque puede ser mediado a través del lenguaje: *discutiendo explícitamente* las generalizaciones y reglas que son relevantes para una estrategia de pensamiento, *nombrando* la estrategia de pensamiento, *explicando* cuándo, por qué y cómo la estrategia de pensamiento debería o no ser utilizada, y *discutiendo* qué características de la tarea solicitan el uso de la estrategia.

El CME parece ser significativo para la regulación de nuestro pensamiento, puesto que puede aconsejarnos sobre cómo aplicar correctamente procesos cognitivos a situaciones específicas y contextualmente ricas, que a menudo son «confusas» en términos de sus estructuras lógicas subyacentes. El CME puede lograr esto dirigiendo nuestra atención a las estructuras generales que están insertas en las situaciones y los contextos específicos. Por ello, una suposición subyacente del proyecto TSC es que, a pesar de que la adquisición de conocimientos es específica para cada contenido y contexto, existen también aspectos generales del pensamiento que son importantes para aprender a pensar (Perkins y Salomon, 1989).

¿Está justificado dar por sentado que hacer explícitas las estructuras de pensamiento generales mejora el aprendizaje de las habilidades de pensamiento? De acuerdo con consideraciones teóricas, un beneficio importante de usar conocimiento metacognitivo explícito es que puede mejorar la transferencia, la cual requiere la capacidad de identificar las estructuras lógicas profundas compartidas entre situaciones que difieren en sus estructuras superficiales (Brown et al., 1983). Por lo tanto, un determinante importante de la transferencia involucra la capacidad de reconocer tipos apropiados de similitudes entre las situaciones. Enseñar las estructuras lógicas subyacentes de manera explícita potencia la transferencia porque esas estructuras son precisamente los elementos de conocimiento compartidos entre las situaciones, mientras que los detalles particulares «confusos» son específicos de cada situación y por ello no pueden ser transferidos.

Otra explicación de la importancia del CME para aprender a pensar está conectada a su papel en los procesos de desarrollo. Esta explicación está basada en una perspectiva del desarrollo bastante diferente a la del modelo clásico (Siegler y Jenkins, 1989; Siegler, 1996; Kuhn et al., 1995; Kuhn, 2000b, 2001). Más que ver el desarrollo como un movimiento desde una única forma de pensamiento hacia la siguiente (es decir, desde un rendimiento de un determinado nivel 1 a otro de nivel 2), esta visión pone énfasis en la variabilidad, que es una realidad tangible de la cognición de orden superior. Con base en esta suposición, los niños y niñas en cualquier momento (y no sólo en estados de transición breves) poseen una variedad de estrategias de pensamiento que usan con diferente frecuencia relativa. El desarrollo es visto como la capacidad creciente de elegir las estrategias más efectivas de un amplio repertorio de estrategias con diversos grados de eficacia. De acuerdo con Kuhn (1999, 2000a, 2001), es en este punto que el CME se vuelve importante, porque

es un factor necesario en la capacidad creciente de elegir estrategias cada vez más adecuadas. Todos los cambios en el nivel de desempeño están mediados por el metanivel. La afirmación central de Kuhn en torno al desarrollo es que aumentar el metanivel de conciencia y de control constituye la dimensión más importante para ver el desarrollo. Es importante notar que al hablar de enseñanza explícita del CME no nos referimos a «transmisión de conocimiento» o a aprendizaje memorístico. Aunque es mayormente verbal, la enseñanza explícita del CME está diseñada para disparar, en los aprendices, el pensamiento activo y para fomentar la comprensión profunda. Esto puede llevarse a cabo tratando el CME en las clases de una manera intensiva, bien planeada y sistemática, haciéndolo repetidamente en una variedad de temas.

Nuestro principal argumento es que afirmar la realidad de las estructuras cognitivas generales cuando se enseña en contextos específicos es una estrategia educativa muy poderosa para provocar cambios en el razonamiento de los estudiantes. Esto puede hacerse utilizando el CME de forma intensiva. En comparación con el gran cambio didáctico que significa moverse de una enseñanza centrada en la transmisión del conocimiento a una enseñanza centrada en la indagación y en el pensamiento de orden superior, la enseñanza explícita del CME es un cambio relativamente pequeño. Sin embargo, los beneficios educativos son enormes.

Se puede enseñar el CME a través de un proceso deductivo o inductivo. En cualquiera de los dos casos, la idea es moverse constantemente entre dos niveles de actividades cognitivas: un nivel procedimental, que consiste en involucrarse en un pensamiento activo sobre asuntos específicos, contextualmente ricos, y un nivel metaestratégico, que concierne reglas y generalizaciones sobre los patrones de pensamiento. Este movimiento puede tener lugar por medio de un proceso deductivo (esto es, desde generalizaciones hasta casos específicos) o inductivo (es decir, desde casos específicos hasta generalizaciones). Ambos procesos, sin embargo, deben ser facilitados mediante una planificación a largo plazo de la enseñanza, es decir, revisando las mismas habilidades de pensamiento una y otra vez en diferentes partes del currículo. En ambos casos, la discusión de elementos de pensamiento abstractos y generales se entrelaza con múltiples experiencias que consisten en problemas específicos, dependientes del contenido, los cuales requieren que los estudiantes usen una estrategia de pensamiento particular en un nivel procedimental. En este sentido, es mejor ocuparse de las reglas, las generalizaciones y los principios del buen pensamiento siempre en conexión con la experiencia concreta de los estudiantes —en la cual ellos *usan* una estrategia de pensamiento— que usar las estrategias de manera abstracta, desconectadas de las experiencias de pensamiento inmediatas. Esto es importante porque, debido a la naturaleza abstracta de las habilidades de pensamiento, la conexión resulta esencial para el aprendizaje significativo. Discutir aspectos generales del pensamiento sin conectarlos con las experiencias inmediatas de los estudiantes es demasiado difícil para muchos de ellos.

UN EJEMPLO DE ACTIVIDAD DE APRENDIZAJE DEL TSC: FOMENTAR ESTRATEGIAS DE ARGUMENTACIÓN A TRAVÉS DEL DILEMA DE LA FIBROSIS QUIÍSTICA

Descripción general de la unidad GReMoD

El principal objetivo de la unidad «La Revolución genética - Discusión de dilemas morales» (GReMoD, *Genetic Revolution - Discussions of Moral Dilemmas*) es fomentar las habilidades de argumentación de los estudiantes mientras se enseñan conceptos centrales de genética. La unidad está formada por diez actividades de aprendizaje. Cada una de ellas gira alrededor de un dilema moral respecto a desarrollos recientes de la genética.

La unidad GReMoD fue construida prestando atención a tres cuestiones:

1. El conocimiento biológico

Cada dilema incluye preguntas que requieren el conocimiento de conceptos de genética. Algunos de los dilemas se refieren a conceptos que se enseñan en el currículo habitual de genética (por ejemplo: caracteres recesivos y dominantes, caracteres ligados al cromosoma X y natura *versus* nurtura). Otros dilemas se refieren a conceptos que no son parte habitual del currículo (por ejemplo: información y asesoramiento sobre rasgos genéticos, terapia génica y clonación). La sección introductoria de cada dilema incluye una corta unidad de enseñanza que involucra esos conceptos. Los estudiantes deben usar su conocimiento biológico cuando piensan sobre los dilemas (Tabla 1). A lo largo de la unidad, se enfatiza explícitamente el valor de fundamentar las decisiones en conocimiento válido.

Tabla 1
Ejemplos concretos de las actividades de aprendizaje TSC.

<p>1. Sección de un dilema relacionado con la genética (FQ)</p> <p>La fibrosis quística (FQ) es un carácter genético autosómico recesivo. Es una de las enfermedades genéticas más frecuentes. En Inglaterra y en los Estados Unidos, uno de cada 2.000 nacidos está afectado y una de cada 20 personas es portadora.</p> <p>La fibrosis quística causa un funcionamiento deficiente de las glándulas de secreción externa, evidenciado (entre otras cosas) en la producción de sudor salado, en desórdenes digestivos y en la producción de grandes cantidades de mucosidad en el tracto respiratorio. La mucosidad causa infecciones pulmonares. Cada nueva infección aumenta el daño a largo plazo de los pulmones. La enfermedad es, por tanto, letal: los pacientes raramente sobreviven más allá de los 40 años de edad.</p> <p>El gen responsable de la FQ ha sido localizado. Científicos de laboratorios de muchos países están trabajando ahora en métodos de terapia génica. Una idea fue sustituir el gen defectuoso por otro sano en el tejido pulmonar. Sin embargo, la compleja ramificación de los pulmones hace imposible extraer las células del epitelio y luego retomarlas tras la sustitución de genes. En 1992, un grupo de investigadores tuvo éxito al insertar el gen en el epitelio del pulmón de una rata; el gen continuó con su función por seis semanas. Otra línea de investigación se enfoca en el desarrollo de un spray formado por genes normales unidos a transportadores cuyo rol será el de insertar los genes en las células. La idea es que los pacientes inhalen el spray de vez en cuando (con la esperanza de que los genes normales sean capaces de funcionar en las células). A pesar de todos estos esfuerzos, todavía queda un largo camino antes de que la terapia génica de la FQ sea realmente práctica. Mientras tanto, los pacientes siguen sufriendo.</p> <p>Dilema</p> <p>a) Rebecca y Joseph tienen hermanos que padecen de FQ (un carácter autosómico recesivo). Rebecca y Joseph se han casado y ahora Rebecca está embarazada. ¿Deberían abortar? ¡Explícalo!</p> <p>b) Las pruebas genéticas han mostrado que tanto Rebecca como Joseph son portadores de la FQ y que el embrión es homocigota para la FQ. Rebecca y Joseph dudan de si deben o no llevar a cabo un aborto.</p> <p>b1. ¿Cuál es el problema moral en consideración?</p> <p>b2. ¿Crees que debería abortar? ¡Da razones para tu postura!</p> <p>b3. Tu amigo/a está en desacuerdo contigo. Define su postura. Aporta razones para esa postura (¿Qué diría tu amigo/a para convencerte de que él/ella tiene razón?)</p> <p>b4. ¿Qué le contestarías a tu amigo/a? ¡Explícalo!</p>
<p>2. Sección de una unidad relacionada con el CME</p> <p>Para poder argumentar bien, es importante estudiar varios conceptos básicos relacionados con la argumentación.</p> <p>Una discusión es una conversación en la cual los participantes se esfuerzan en convencerse mutuamente de sus posturas. Los participantes presentan sus creencias utilizando argumentos.</p> <p>Durante una discusión, una argumentación es un esfuerzo para convencer a alguien de que cambie su parecer. Consiste en dos componentes principales:</p> <p>a) la conclusión, que es la postura central que una persona querría presentar;</p> <p>b) una o más justificaciones que apoyan esa conclusión.</p> <p>.....</p> <p>¿Qué es una buena argumentación?</p> <p>Una buena argumentación es aquélla en la cual la conclusión está bien apoyada por numerosas y variadas justificaciones y por reglas generales. Una buena argumentación también responde a las posturas que la contradicen.</p> <p>Las justificaciones en una buena argumentación deben ser:</p> <p>a) verdaderas;</p> <p>b) relevantes a la conclusión;</p> <p>c) referentes a una gran variedad de aspectos.</p>

2. El conocimiento estratégico y metaestratégico con respecto a la argumentación

El programa toca las siguientes estrategias de argumentación: a) la capacidad de argumentar; b) la capacidad de proveer justificaciones; c) la capacidad de ofrecer argumentos alternativos; y d) la capacidad de refutar esos argumentos alternativos. Estas estrategias son tratadas tanto desde el punto de vista cognitivo como en el metacognitivo. Entre la confrontación del primer y el segundo dilemas se destinó una lección a enseñar explícitamente CME alrededor de la estructura argumentativa. Se presenta una sección de esta lección en la parte 2 de la tabla 1.

3. Los principios de la bioética

Se hace una distinción entre conocimiento y valores y se enfatiza que los valores no están determinados por el conocimiento. Se discuten los siguientes conceptos y temas: dilemas morales, ética y principios de bioética.

La primera parte de la tabla 1 presenta una sección del primer dilema en la unidad GReMoD: la fibrosis quística (FQ). Un examen del dilema ilustra varios de los principios delineados en las secciones anteriores. Se trata el conocimiento científico en la sección inicial del dilema, en la que se provee información sobre la FQ. Este conocimiento y la primera ley de Mendel son revisados en muchas de las preguntas. Por ejemplo, para poder contestar la pregunta 1, los estudiantes necesitan considerar el hecho de que la FQ es un rasgo recesivo y, por lo tanto, hay posibilidades de que Rebecca o Joseph no sean portadores. Incluso, si ambos padres son portadores, sólo hay un 25% de probabilidades de que el embrión sea homocigota para la FQ. Así, para poder dar una justificación relevante y exhaustiva a su postura, los estudiantes que responden la primera pregunta deben aplicar el conocimiento de genética adquirido en la sección inicial y utilizarlo para llevar adelante un análisis genético (usando la primera ley de Mendel, que ellos han estudiado en una unidad previa). Queda, pues, claro cómo la participación de los estudiantes en el dilema de la FQ puede contribuir a sus conocimientos de genética.

A lo largo de la tarea de la FQ, se pide a los estudiantes que utilicen diversas estrategias de argumentación: formular una argumentación, proveer justificaciones que la apoyen, ofrecer argumentos alternativos y refutarlos. A fin de apoyar el razonamiento de los estudiantes, se enseña de forma explícita CME relacionado con la argumentación. Se presenta un fragmento de la unidad diseñado para alcanzar esta meta en la segunda parte de la tabla 1.

RESULTADOS DE INVESTIGACIÓN EN TORNO A LOS EFECTOS DEL PROYECTO TSC

El proyecto TSC ha sido estudiado en un amplio programa de investigación. En lo que sigue presentaré algunos de los puntos principales de esta investigación, poniendo énfasis en los efectos del proyecto en relación con tres cuestiones

importantes: a) mejoras en el conocimiento científico de los estudiantes; b) mejoras en las capacidades de razonamiento de los estudiantes; c) contribuciones del enfoque TSC para estudiantes de diferentes niveles académicos.

El proyecto TSC y la mejora del conocimiento científico de los estudiantes

Los profesores y profesoras que participaron de los cursos de desarrollo profesional del proyecto TSC a menudo expresaron preocupaciones. Aunque la idea de involucrarse en el pensamiento de orden superior resultaba atrayente para muchos, estaban preocupados porque «perder» tiempo valioso en enseñar a pensar puede atentar contra alcanzar lo que ellos ven como su principal tarea como profesores de ciencias: enseñar contenidos científicos. Por ejemplo, un profesor que participó en un taller del proyecto TSC expresó lo siguiente:

«El proyecto de pensamiento es excelente. ¿Sabes cuál es el problema? Es el currículo. Si vamos a emplear tanto tiempo en desarrollar el pensamiento de los estudiantes, ¿cómo llegarán a aprender todo lo que se supone que tienen que saber?»

Esta preocupación, sin embargo, no se ajusta a la visión actual sobre la naturaleza del conocimiento ni a cómo se adquiere. Perkins (1992) resume esta visión diciendo que lo que se necesita es *aprendizaje reflexivo*. Se puede lograr esto si las escuelas no se centran sólo en fomentar la memoria, sino también en enseñar a pensar:

«El fundamento se reduce a una única frase: *el aprendizaje es una consecuencia del pensamiento*. Pueden generarse retención, comprensión y uso activo del conocimiento sólo mediante experiencias de aprendizaje en las cuales los aprendices piensan sobre y con lo que están aprendiendo [...] El patrón convencional dice que primero los estudiantes adquieren conocimiento y sólo después piensan con y sobre el conocimiento que han absorbido. Pero es justamente al contrario: lejos de venir antes del pensamiento, el conocimiento viene colgando de él. Aprendemos un contenido realmente cuando pensamos sobre él.» (Perkins, 1992, 8; cursiva en el original)

Por lo tanto, enseñar a pensar y enseñar el contenido no son dos objetivos educativos separados que compiten por nuestro recurso educativo más valioso: el tiempo. Más bien, si diseñamos la enseñanza adecuadamente, estos dos objetivos pueden y deben apoyarse mutuamente. Como expliqué más arriba, estas consideraciones teóricas son las claves del proyecto TSC. En la tabla 2 se presenta un ejemplo de cómo el razonamiento que tiene lugar dentro de las actividades de aprendizaje TSC puede de verdad apoyar el desarrollo del conocimiento científico de los estudiantes.

Para investigar empíricamente si los materiales de aprendizaje del proyecto TSC realmente apoyan el aprendizaje de contenidos científicos, se evaluó el conocimiento de los estudiantes al final de dos de las unidades del proyecto: la unidad GReMoD y la unidad «Balance de agua en orga-

Tabla 2

Un ejemplo de cómo el razonamiento que tiene lugar dentro de las actividades de aprendizaje TSC puede, de hecho, apoyar el desarrollo del conocimiento científico de los estudiantes.

El rol del fertilizante en la germinación de las semillas

El principal objetivo de pensamiento del micromundo *Seed Germination* («Germinación de semillas»), que es una simple simulación por ordenador, es enseñar el control de variables. El objetivo de contenido de la actividad es mostrar varias cuestiones relacionadas con la germinación de las semillas. Examinemos cómo el razonamiento puede apoyar la construcción de conocimiento.

Una de las cinco variables presentadas en este micromundo es el fertilizante. La actividad pide al estudiante que concluya si añadir fertilizante afecta el ritmo de germinación. La creencia inicial de los estudiantes acerca de esta cuestión es que añadir fertilizante aumenta la tasa de germinación. La fuente de esta creencia es probablemente el conocimiento informal de los estudiantes basado en sus experiencias extraescolares con jardines o plantas en tiestos en sus casas. De acuerdo con estas experiencias, «el fertilizante es bueno para las plantas». Sin embargo, una vez que los estudiantes comienzan a controlar variables y a extraer inferencias válidas, las evidencias que ellos obtienen de los experimentos que llevan a cabo con el micromundo de la germinación apuntan a una conclusión diferente, a saber: que añadir fertilizante no afecta la tasa de germinación. Esta conclusión entra en conflicto con el conocimiento inicial de los estudiantes sobre los fertilizantes. Invariablemente, en todas las clases en las cuales los estudiantes se implicaron en esta actividad, tuvo lugar el siguiente tipo de conversación:

E: –No entiendo. Algo está mal aquí. Mirad lo que he hecho. (La estudiante muestra su hoja de actividad, en la cual ha realizado dos experimentos, el primero con fertilizante y el segundo sin él. El nivel de las otras cuatro variables permaneció igual en los dos experimentos.)

T: –¿Por qué piensas que algo está mal?

S: –Porque lo he hecho bien. Sólo he cambiado el fertilizante y he mantenido los otros cuatro factores sin cambios, pero el resultado es el mismo: he obtenido un 60% de germinación en ambos experimentos. Entonces, está mal, porque resulta que el fertilizante no importa.

T: –¿Y qué es lo que está mal?

S: –Porque sé que el fertilizante es bueno para las plantas.

T: –¿Siempre lo es? ¿Te acuerdas de lo que dijimos cuando hablábamos de la estructura y la función de las semillas?

S: –Sí. Las semillas contienen el embrión y nutrientes... ¡Oh, correcto! Los brotes primero obtienen la materia que necesitan de los nutrientes que están en la semilla. Es por eso que el fertilizante no afecta a la tasa de germinación, porque las plantas sólo lo necesitan más tarde, después de germinar...

Esta conversación tuvo lugar en muchas clases entre estudiantes y profesores. A menudo también tuvo lugar en los talleres para el profesorado, entre los profesores y quienes llevaban adelante el taller, lo que indica que muchos profesores de ciencias comparten las mismas concepciones erróneas con sus estudiantes, a saber: que los brotes necesitan tomar nutrientes del entorno para germinar. Estos casos ilustran que, cuando la actividad de aprendizaje TSC dispara procesos de razonamiento dentro del contenido científico, la conclusión de un proceso de razonamiento sensato y racional puede contradecir el conocimiento inicial de los estudiantes, creando una disonancia cognitiva. Es importante hacer notar, que en estas circunstancias, la disonancia no se consigue de la experiencia con el mundo físico o del discurso social (esto es, otros individuos que pueden contradecir las propias creencias), sino de los propios procesos de razonamiento del individuo.

En este ejemplo particular, el profesor llevó a su estudiante a revisar los hechos que ella había aprendido en clase en una lección anterior (sobre la estructura de las semillas). Esta guía ayudó a la aprendiz a hacer la conexión entre ese conocimiento y la conclusión de su investigación asistida por ordenador, desarrollando, de este modo, su comprensión de que el fertilizante es sólo necesario después de la germinación. Aunque este proceso de aprendizaje no fue formalmente evaluado, es razonable suponer que contribuyó a la comprensión que tiene esta estudiante de la estructura y la función de las semillas.

nismos vivos» (*Water Balance in Living Organisms*). La unidad GReMoD trataba las habilidades de argumentación en el contexto de temas seleccionados de genética humana en 9º grado. La unidad del balance del agua se centraba en las habilidades de pensamiento científico y crítico en el contexto del papel del agua en los procesos vitales en 8º grado. Se evaluaron ambas unidades usando un diseño de investigación que consistía en un grupo experimental, el cual estudiaba el libro de texto usual junto con los materiales de aprendizaje TSC, y un grupo de control, el cual estudiaba los mismos temas de manera convencional. Se administraron dos pruebas de conocimiento distintas (que comprendían 20 ítems de opción múltiple cada una) a los estudiantes de ambos grupos al final de cada una de las dos unidades. Los grupos experimental y de control aprendieron estos temas en la misma cantidad de tiempo (Zohar et al., 1994; Zohar y Nemet, 2002). Es importante señalar que los dos grupos habían obtenido resultados muy similares en pretests tomados al comienzo del estudio, lo que

confirma un nivel inicial equivalente de los estudiantes de ambos grupos.

Los participantes en el estudio evaluativo de la unidad GReMoD fueron 186 estudiantes de una escuela. El número de estudiantes en el grupo experimental fue de 99; en el grupo de control había 87 estudiantes. En el estudio evaluativo de la unidad del balance de agua participaron 678 estudiantes. Los estudiantes del grupo experimental ($n = 367$) provenían de 11 clases en cuatro escuelas. Los estudiantes del grupo de control ($n = 311$) provenían de 10 clases de cuatro escuelas distintas a las del primer grupo.

Los resultados de la prueba de conocimiento administrada al final de la unidad GReMoD muestran que los estudiantes del grupo experimental sacaron puntuaciones mucho mayores que los del grupo de control ($\bar{x} = 72,9$, S.D. = 6,0; y $\bar{x} = 59,4$; S.D. = 4,1, respectivamente; $t = 3,94$; $p < 0,001$; tabla 3).

Tabla 3

Comparación entre las puntuaciones de conocimiento en el grupo experimental y el de control en dos de las unidades TSC.

Unidad	Experimental		Control		T	P
	Nota media	SD	Nota media	SD		
Revolución genética (habilidades de argumentación)	72,9	6,0	59,4	4,1	3,94	< 0,001
Balance del agua en los seres vivos (habilidades científicas y de pensamiento crítico)	86,9	4,8	73,8	6,2	25,04	< 0,01

Tabla 4

Desempeño de los estudiantes experimentales y de control en las pruebas de pensamiento crítico.

	Grupo experimental			Grupo de control			t
	N	\bar{x}	SD	N	\bar{x}	SD	
Pensamiento crítico general: pretest	156	41,6	12,0	203	41,3	13,0	0,23
Pensamiento crítico general: postest	206	78,7	15,3	284	46,5	15,3	17,63*
Pensamiento crítico en biología: postest	136	72,9	19,3	62	29,3	17,6	15,12*

*p < 0,05

Tabla 5

Comparación de las mejoras de los grupos de control y experimental en la prueba de pensamiento crítico general.

	Pretest		Posttest		t	Mejora
	\bar{x}	SD	\bar{x}	SD		
Grupo experimental (n = 144)	41,5	11,7	78,2	16,2	24,98*	36,7
Grupo control (n = 176)	41,3	12,6	46,7	15,7	4,27*	5,4

*p < 0,05

En la prueba de conocimiento administrada al final de la unidad del agua también el grupo experimental obtuvo una mayor puntuación que el grupo de control (\bar{x} = 86,9; SD = 4,8; \bar{x} = 73,8; SD = 6,2; t = 25,04, p < 0,01; tabla 3).

En suma, los resultados de las pruebas de conocimiento en ambas unidades confirman que los estudiantes que aprendieron con los materiales TSC tuvieron puntuaciones significativamente más altas que los estudiantes que aprendieron de manera tradicional. Estos resultados son limitados en el sentido de que las dos pruebas evalúan sólo el conocimiento en lugar de la comprensión profunda. En otras palabras, no comparamos la *calidad* del conocimiento de los estudiantes, es decir, no vimos si aprender con las actividades TSC mejora la capacidad de aplicar el nuevo conocimiento en nuevos contextos, de resolver problemas más complejos o de retener el conocimiento por períodos de tiempo más largos. Sin embargo, estas pruebas muestran que usar las actividades de aprendizaje TSC, en comparación con los métodos convencionales, no sólo mantiene los logros de los estudiantes en términos de conocimiento sino que de hecho los mejora.

El proyecto TSC y la mejora de las estrategias de razonamiento científico de los estudiantes

También se evaluaron los efectos del proyecto TSC sobre las estrategias de razonamiento científico de los

estudiantes en las dos unidades descritas más arriba. La prueba general de pensamiento crítico (PGPC) consistió en 14 ítems que evaluaban los logros en las siete estrategias de pensamiento enseñadas en la unidad de balance del agua: reconocer falacias lógicas, identificar suposiciones explícitas y tácitas, evitar tautologías, identificar la información relevante, diferenciar entre resultados experimentales y conclusiones, aislar variables y poner a prueba hipótesis. La prueba de pensamiento crítico en biología (PPCB) es similar a la PGPC en el patrón lógico subyacente a sus ítems. Sin embargo, en la PPCB se presentaba primero a los estudiantes la demostración de un experimento. La PPCB consistía en 11 ítems y fue administrada como segundo postest a alrededor de la mitad de los participantes.

La tabla 4 presenta una comparación entre los grupos experimental (e) y de control (c). Los datos muestran que las puntuaciones medias del pre-test de los dos grupos eran prácticamente los mismos (\bar{x}_e = 41,6; \bar{x}_c = 41,3), lo que indica que ambos grupos eran equivalentes en su rendimiento inicial en las siete habilidades de pensamiento descritas más arriba. Sin embargo, en el postest se observó una diferencia significativa entre los grupos: las puntuaciones medias en el postest de habilidades generales fueron \bar{x}_e = 78,7 y \bar{x}_c = 46,5. Esta diferencia es estadísticamente significativa (t = 17,6; p < 0.01) y el tamaño del efecto (ES) es muy grande

(ES = 2,0). Aunque la PPCB era más difícil para los estudiantes de ambos grupos, la diferencia entre ellos fue aún mayor (ES = 2,5).

La tabla 5 presenta una comparación de las mejoras de los grupos. La diferencia entre las puntuaciones medias fue estadísticamente significativa en ambos grupos. Sin embargo, la mejora fue considerablemente mayor en el grupo experimental. Estos resultados indican que incluso los estudiantes del grupo de control mejoraron sus habilidades de pensamiento crítico hasta cierto punto, quizás porque el libro de texto usado por ambos grupos sigue la línea de la indagación práctica. Por ello, los estudiantes del grupo de control tuvieron oportunidad de practicar (hasta cierto punto) varias habilidades que eran similares a las del proyecto TSC. Sin embargo, las actividades de aprendizaje sistemáticas, cuidadosamente planificadas y numerosas del proyecto TSC que los estudiantes del grupo experimental llevaron adelante dieron como resultado mejoras mucho más importantes.

En la unidad GReMoD, se evaluaron las habilidades de razonamiento de los estudiantes antes y después de la enseñanza mediante una serie de tareas escritas. En las respuestas de los estudiantes al pretest y al postest escritos, analizamos su capacidad de argumentar, formular contraargumentos y refutaciones, y justificarlos. Una comparación del pretest y del postest en los grupos experimental y de control mostró que, mientras ambos grupos tenían puntuaciones similares en el pretest, los estudiantes del grupo experimental obtuvieron, en dos postests diferentes (1 y 2), puntuaciones significativamente mayores que los estudiantes del grupo control. Además, sólo el grupo experimental mejoró sus puntuaciones en los dos postests (1 y 2) en comparación con las puntuaciones del pretest. Su mejora fue estadísticamente significativa para todas las dimensiones exploradas: argumentar, formular

argumentaciones alternativas, refutar éstas, el número de justificaciones y las estructuras argumentativas. La tabla 6 muestra una descripción detallada de la comparación entre el pretest y el postest 1. Se encontraron diferencias similares (no mostradas aquí) al comparar el pretest y el postest 2. Puede, por tanto, concluirse que la unidad GReMoD tuvo un efecto positivo en la capacidad de los estudiantes para razonar sobre dilemas morales presentados en un contexto biológico.

Para evaluar la transferencia, los estudiantes del grupo experimental respondieron dos cuestionarios adicionales equivalentes sobre dilemas morales tomados de la vida cotidiana. Los resultados muestran que los estudiantes mejoraron significativamente en relación con los dilemas morales de la vida cotidiana en todas las dimensiones analizadas. Puede, pues, concluirse que la enseñanza relacionada con dilemas morales en biología permitió a los estudiantes transferir las habilidades de argumentación recientemente adquiridas a un nuevo contexto tomado de la vida cotidiana.

Los efectos del proyecto TSC en estudiantes de diferentes niveles académicos

Los resultados presentados en las secciones anteriores muestran que, en general, los estudiantes se beneficiaron de la unidad GReMoD en términos de su capacidad de argumentación. Estos resultados, sin embargo, no indican el tipo de estudiantes que tuvieron progresos como resultado de la enseñanza. Teóricamente, podría ser que sólo una parte de la población de estudiantes, a saber, los de mayor rendimiento o los de menor rendimiento, contribuyera a la mejora significativa. Para evaluar esta cuestión, dividimos nuestra población de estudiantes en dos subgrupos de acuerdo con sus rendimientos académicos.

Tabla 6
Comparación entre el pretest y el postest 1 en el grupo experimental.

Estrategia	Pretest		Postest		n	T
	Media	SD	Media	SD		
Formular un argumento	2,9	0,3	3,0	0,0	75	-2,97**
Número de justificaciones	1,2	0,6	1,9	0,8	75	-6,42***
Estructura de la argumentación	1,1	0,6	1,5	0,5	75	-5,11***
Formular una contraargumentación	2,8	0,6	3,0	0,0	72	-3,35***
Número de justificaciones	1,2	0,7	1,8	0,8	72	-5,31***
Estructura de la contraargumentación	1,0	0,6	1,3	0,5	72	-4,76***
Formular una refutación	2,7	0,7	2,9	0,3	67	-2,11**
Número de justificaciones	1,2	0,6	1,7	0,8	67	-4,88***
Estructura de la refutación	1,1	0,5	1,3	0,5	67	-2,89**

P < 0.01; *P < 0.001

En la unidad del agua, nos fijamos en las calificaciones en biología del período escolar que precedió inmediatamente a nuestro estudio. Los estudiantes cuyas notas en biología estaban entre 45 y 70 fueron tomados como el grupo de bajo rendimiento; los estudiantes con calificaciones sobre 70 y debajo de 90 fueron considerados de rendimiento medio y los estudiantes cuyas calificaciones estaban entre 90 y 100 formaron el grupo de alto rendimiento. La tabla 7 presenta los resultados del análisis de las pruebas de argumentación sobre genética y la tabla 8 presenta los resultados del análisis de las pruebas de transferencia (sobre dilemas de la vida cotidiana).

Los datos presentados en la tabla 7 muestran que los tres subgrupos mejoraron sus calificaciones en los postests con respecto a los pretests en ambas pruebas. En los tres subgrupos, las diferencias entre pretest y postest fueron estadísticamente significativas, con resultados (ES) de medianos a muy grandes. La mejora parece similar para los tres subgrupos. Así, estos resultados muestran que tanto estudiantes de bajo rendimiento como de alto rendimiento mejoraron sus habilidades de razonamiento después de la implementación de la unidad GReMoD.

Se realizó un análisis similar para estudiantes de bajo y alto rendimiento en la unidad de balance del agua. Se calcularon las mejoras en la PGPC en función del rendimiento académico de los estudiantes en biología. La medida que usamos para el rendimiento académico fueron las notas de biología de los estudiantes en el período de calificaciones que precedió al proyecto TSC. Los resultados se presentan en la tabla 9.

Como esperábamos, encontramos una relación directa entre el rendimiento académico de los estudiantes y sus notas en la PGPC: cuanto más bajas las notas en biología, más baja puntuación en la PGPC tanto en el pretest como en el postest. Sin embargo, si, en lugar de preguntarnos qué grupo de estudiantes obtuvo puntuaciones más altas, nos preguntáramos quién realizó progresos, podríamos ver que los estudiantes de todos los niveles mejoraron sus puntuaciones en el postest comparado con el pretest. De hecho, los estudiantes con los rendimientos académicos más bajos obtuvieron en el postest puntuaciones incluso mejores que los que habían obtenido los estudiantes con más altos rendimientos en el pretest. Esto muestra que los estudiantes de todos los niveles académicos se beneficiaron significativamente de su participación en el proyecto.

Estos resultados fueron avalados mediante conversaciones informales con los profesores y profesoras, que manifestaron que los estudiantes de todos los niveles académicos estuvieron activos durante las lecciones TSC y participaron de las discusiones grupales. Algunos profesores manifestaron que estudiantes que nunca antes habían participado en discusiones habían levantado su mano voluntariamente por primera vez durante las discusiones en clase del proyecto TSC.

La contribución de la enseñanza explícita del conocimiento metaestratégico

En una sección anterior expliqué el beneficio teórico de enseñar explícitamente CME para el desarrollo del pensamiento estratégico de los estudiantes. Sin embargo, es importante poner a prueba este beneficio teórico de forma empírica. Condujimos un estudio que exploraba esta cuestión dentro de la unidad de «Investigación de micro-mundos». Los objetivos de este estudio eran investigar los efectos de la enseñanza explícita del CME sobre el desarrollo del pensamiento de los estudiantes con respecto a la estrategia de control de variables y explorar las diferencias entre estudiantes con bajo y alto rendimiento en relación con de esta cuestión.

Los participantes fueron 41 estudiantes de 5° grado de dos escuelas heterogéneas de una ciudad grande de Israel. Se categorizó a los estudiantes en dos niveles académicos, alto rendimiento (AR) y bajo rendimiento (BR), de acuerdo con su desempeño en tres asignaturas: Aritmética, Hebreo y Ciencias. Tuvimos un total de cuatro subgrupos en un diseño de 2 x 2: subgrupo experimental de BR, subgrupo control de BR, subgrupo experimental de AR y subgrupo control de AR. Todos los estudiantes participaron la misma cantidad de tiempo en una tarea computarizada (micromundo), que requería el control de variables. Sólo los estudiantes de los subgrupos experimentales recibieron enseñanza explícita sobre CME en el contexto del control de variables. Cada estudiante participó en nueve sesiones: dos sesiones de enseñanza que tuvieron lugar en grupos de 4 estudiantes, y siete sesiones individuales: una sesión de pretest (1), dos sesiones de enseñanza (2 y 3), cuatro sesiones de práctica (4 a 7), una sesión de transferencia (8) y una sesión de retención (9), que tuvo lugar tres meses después de la sesión de transferencia. Las transcripciones de las entrevistas fueron analizadas usando un sistema de codificación desarrollado y validado por Kuhn y otros (1992, 1995).

Tabla 7

Estudiantes de diferentes rendimientos académicos: puntuaciones en la prueba de argumentación en genética.

Rendimiento académico	N	Pretest		Postest		t	p	ES
		\bar{x}	SD	\bar{x}	SD			
Todos los estudiantes	71	6,6	2,0	8,7	2,1	7,5	< 0.001	0,98
Estudiantes de bajo rendimiento	18	5,9	2,3	7,5	2,4	4,4	< 0.001	0,68
Estudiantes de rendimiento intermedio	26	6,5	2,1	8,5	1,7	3,8	< 0.001	1,05
Estudiantes de alto rendimiento	27	7,3	1,4	9,5	1,9	4,9	< 0.001	1,32

Tabla 8
Estudiantes de diferentes rendimientos académicos: puntuaciones en la prueba de transferencia en genética (relacionada con dilemas de la vida cotidiana).

Rendimiento académico	N	Pretest		Posttest		t	P	ES
		\bar{x}	SD	\bar{x}	SD			
Todos los estudiantes	69	5,2	2,4	8,3	1,9	11,6	< 0,001	1,55
Estudiantes de bajo rendimiento	18	4,6	2,3	7,8	2,3	6,0	< 0,001	1,42
Estudiantes de rendimiento intermedio	24	5,6	2,1	8,0	1,6	4,9	< 0,001	1,30
Estudiantes de alto rendimiento	27	5,5	2,5	9,0	1,7	8,0	< 0,001	1,66

Tabla 9
Puntuaciones de los estudiantes en la prueba de PCG distribuidas de acuerdo con sus notas en biología. Las notas van de 4 (bajo) a 10 (excelente).

Notas en biología	N	Puntuación en el pretest	Puntuación en el posttest	Mejora
Grupo experimental				
5	11	35,7	66,2	30,5
6	25	32,6	65,4	32,8
7	42	40,2	72,6	32,4
8	61	44,1	81,6	37,5
9	56	44,6	85,8	41,2
10	10	58,6	92,9	34,3
Grupo de control				
4	4	30,4	32,7	2,3
5	14	45,9	37,2	-8,7
6	34	39,3	43,9	4,6
7	51	39,4	40,9	1,5
8	64	38,6	45,6	7,0
9	56	40,8	52,1	11,3
10	36	49,2	55,4	6,2

El desarrollo del conocimiento estratégico en los grupos experimental y de control

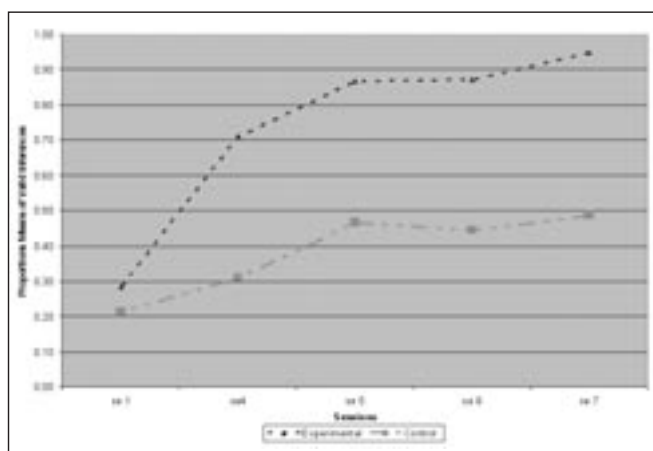
La figura 1 presenta el porcentaje medio de inferencias válidas en los grupos experimental y de control en las sesiones 1, 4, 5, 6 y 7. Un t-test para puntuaciones no correlacionadas mostró que las diferencias entre los grupos en el pretest no eran significativas ($t(39) = 0,7$, $p > 0,05$). Para determinar los efectos de la intervención de CME se realizó un ANOVA de medidas repetidas. El análisis reveló un resultado importante en relación con el tiempo, $F(4,36) = 17,86$, $p < 0,01$, indicando que los niños mejoraron su desempeño en el transcurso de las cinco sesiones, y otro efecto principal para el tratamiento, $F(1,39) = 21,55$, $p < 0,001$, indicando que los estudiantes del

grupo experimental se desempeñaron mejor que los del grupo control. La interacción entre tiempo y tratamiento también resultó significativa, $F(4,36) = 3,87$, $p < 0,01$.

Para evaluar la transferencia, se presentaron a los estudiantes tareas de transferencia cercana y lejana dos semanas después de la sesión 7 (sesión 8). Para evaluar la retención, se presentaron a los estudiantes las mismas dos tareas tres meses después (sesión 9). El análisis de las pruebas de transferencia y de retención muestra que se conserva la misma tendencia de alto rendimiento de los estudiantes del grupo experimental comparados con los del grupo control cuando los estudiantes realizan nuevas tareas dos semanas y tres meses después del final del proceso de enseñanza.

Figura 1

Conocimiento estratégico: puntuaciones medias de los grupos experimental y de control en las sesiones prácticas.

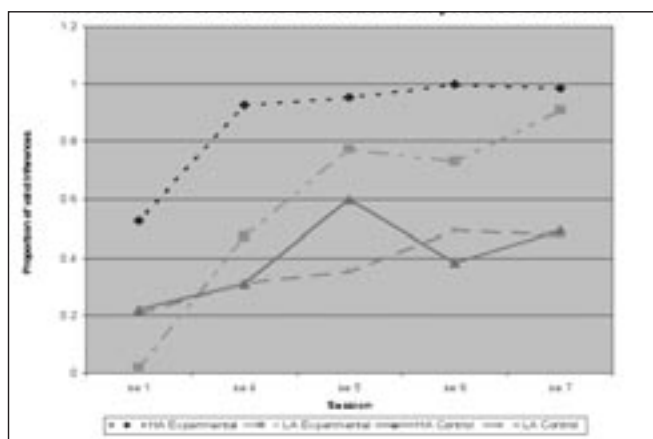


Comparación del desarrollo del conocimiento estratégico de estudiantes con bajo y alto rendimiento

A fin de comparar los procesos de aprendizaje de los estudiantes de BR y AR, examinamos el desarrollo de conocimiento estratégico en las sesiones 1, 4, 5, 6 y 7 en los cuatro subgrupos: experimental de AR, control de AR, experimental de BR y control de BR, usando un diseño de 2 x 2. Los resultados se presentan en la figura 2.

Figura 2

Conocimiento estratégico en los cuatro subgrupos: puntuación media de los estudiantes de AR y de BR en las sesiones de prácticas.



En el pretest no se encontraron diferencias entre los subgrupos experimental y de control. Para determinar los efectos de la intervención de CME se llevó a cabo un ANOVA de medidas repetidas. El análisis reveló un efecto principal para el tiempo, $F(4,34) = 22,07$, $p <$

0,001, indicando que los niños mejoraron su desempeño en el transcurso de las cinco sesiones, e igualmente un resultado importante en relación con el tratamiento (control *versus* experimental) $F(1,39) = 21,55$, $p < 0,001$, indicando que los estudiantes de los subgrupos experimentales se desarrollaron mejor que los de subgrupos de control. No hubo efecto principal para el nivel de los estudiantes, lo que indica que el tratamiento desdibujó las diferencias entre estudiantes de BR y AR. Esta tendencia se enfatiza en el efecto de interacción significativo que se encontró entre el tiempo, el tratamiento y el nivel de los estudiantes: $F(4,34) = 4,49$, $p < 0,005$. Todo ello refleja que, después de la intervención, los estudiantes de BR en el grupo experimental que obtuvieron las puntuaciones más bajas en el pretest se desarrollaron en las sesiones después de la intervención casi tan bien como los estudiantes de AR del mismo grupo y mejor que los estudiantes de AR del grupo control (Fig. 3). Este resultado fue posteriormente apoyado mediante un ANOVA de un factor (*one-way*) y un test Scheffé *post-hoc*. Durante las sesiones 5, 6 y 7 no se encontraron diferencias significativas entre las puntuaciones medias de los estudiantes de BR en el subgrupo experimental y los estudiantes de AR en los subgrupos experimental y de control. Esto significa que las puntuaciones de los estudiantes de BR en el subgrupo experimental fueron tan altas como las de los grupos de AR. Por otra parte, durante las sesiones 5 y 7 se encontraron diferencias significativas entre los estudiantes de BR del subgrupo experimental y de BR del subgrupo de control, lo que indica que los estudiantes de BR del subgrupo experimental se desarrollaron mejor que los de BR del grupo control.

El análisis de las pruebas de transferencia y retención muestra que se conserva la misma tendencia de desempeños relativamente altos de los estudiantes de BR en el grupo experimental (más altos que los de los estudiantes de BR y AR del grupo control) cuando los estudiantes realizan nuevas tareas dos semanas y tres meses después del final del proceso de enseñanza.

PRINCIPALES CONCLUSIONES

Uno de los objetivos principales de este estudio fue determinar el efecto de una intervención enfocada en la enseñanza explícita del CME a través de la discusión oral y combinada con múltiples oportunidades de practicar el uso de la estrategia de control de variables. Los resultados muestran que tal intervención es, de hecho, efectiva para promover mejoras sustanciales en el razonamiento de los estudiantes. Se obtuvo una mejora en el razonamiento de los estudiantes en el nivel estratégico (medida por la proporción de inferencias válidas) y en el nivel metaestratégico (medida por la puntuación metaestratégica combinada).

La capacidad de transferir el conocimiento a problemas nuevos y la conservación de esta capacidad por períodos de tiempo extensos requieren un grado sustancial de comprensión. Dado que las mejoras se mantuvieron en las tareas de transferencia cercana y lejana administradas dos semanas después de la enseñanza y en las tareas de

retención administradas aproximadamente tres meses después, los estudiantes del grupo experimental parecen haber desarrollado comprensión más que haber aprendido memorísticamente a resolver las tareas que se les presentaron durante las cinco sesiones prácticas.

Otro objetivo importante de este estudio fue examinar los efectos de la enseñanza verbal explícita del CME en estudiantes de diferentes niveles académicos. Nuestros resultados muestran que enseñar explícitamente CME tiene un efecto más fuerte para estudiantes de bajo rendimiento que de alto rendimiento. El desarrollo de los estudiantes de BR en el grupo experimental mejoró de manera significativa, como puede verse en: *a)* las diferencias significativas entre los grupos de estudiantes de BR experimental y de control; y *b)* la falta de diferencias significativas entre los grupos de BR y AR experimentales halladas después de la intervención.

Estas conclusiones tienen implicancias educativas importantes. Hacer la transición entre la enseñanza tradicional y el aprendizaje por indagación, en el cual los estudiantes resuelven activamente problemas, requiere un cambio sustancial en los currículos, en la formación del profesorado y en los ambientes de aprendizaje. Comparada con este cambio sustancial, la introducción de la enseñanza explícita del CME es sólo una adición menor en términos de los recursos. Sin embargo, nuestros resultados muestran que esta adición significa una contribución importante al razonamiento de los estudiantes. En particular, la enseñanza explícita del CME es un medio de enseñanza invaluable para apoyar el progreso de los estudiantes con bajo rendimiento académico. Por lo tanto, nuestros resultados sugieren que la enseñanza explícita de metaestrategias debería volverse un componente inseparable del aprendizaje por indagación.

En términos de futuras investigaciones, nuestros resultados apuntan a varias áreas importantes. En primer lugar, para aprender a implementar un CME explícito en las aulas necesitamos aprender más sobre el funcionamiento interno de los procesos de aprendizaje que tienen lugar en las mentes de los estudiantes después de que interactúan con la intervención CME. Estamos ahora conduciendo un análisis cualitativo de las vastas cantidades de datos recolectados en este estudio y esperamos que los resultados aporten luz sobre el asunto. En segundo lugar, todavía queda por verse si los efectos de la enseñanza explícita del CME obtenidos en este estudio en condiciones de laboratorio (esto es, grupos pequeños de estudiantes o estudiantes individuales trabajando con un profesor) se mantendrán en condiciones escolares reales. Los resultados preliminares de un nuevo estudio que tiene lugar en seis aulas indican que la enseñanza explícita del CME tiene efectos dramáticos para el aprendizaje por indagación en general, y para los estudiantes de BR en particular, incluso en las circunstancias confusas de las aulas reales en las que se lleva adelante aprendizaje por indagación.

DISCUSIÓN E IMPLICACIONES EDUCATIVAS

En este artículo describo los fundamentos del proyecto TSC, que integra enseñar a pensar con la enseñanza de

temas de ciencias. Otra característica distintiva del proyecto TSC es la enseñanza explícita del conocimiento metaestratégico. La evaluación de este enfoque muestra que: *a)* ayuda al desarrollo del conocimiento científico de los estudiantes; *b)* ayuda al desarrollo del pensamiento de los estudiantes; *c)* mejora el aprendizaje tanto de estudiantes con alto rendimiento académico como con bajo rendimiento; y *d)* contribuye al desarrollo del pensamiento de los estudiantes, particularmente de aquéllos con bajo rendimiento.

Estos resultados tienen implicaciones educativas importantes. Primeramente, animan al profesorado de ciencias a adoptar el método de integrar numerosas actividades de pensamiento explícitas en la enseñanza de los contenidos científicos. En segundo lugar, los resultados relativos al aumento del conocimiento de los estudiantes después de aplicar el proyecto TSC son importantes porque pueden ser usados para rebatir objeciones comunes a enseñar a pensar. Como en el caso del profesor que citamos más arriba, la oposición a enseñar a pensar siguiendo el enfoque por infusión a menudo se centra en la cuestión del conocimiento científico. La transmisión del conocimiento científico y la preparación de los estudiantes para pruebas estandarizadas son vistas a menudo como las mayores responsabilidades del profesorado de ciencias, mientras que enseñar a pensar es considerado un objetivo educativo en competencia, que toma tiempo y, por tanto, interfiere con el objetivo de transmisión. Los resultados de las pruebas de conocimiento proveen argumentos poderosos contra esta visión porque muestran que, cuando se enseña a pensar integrando las actividades de pensamiento con los temas de ciencias, el conocimiento científico de los estudiantes mejora en lugar de empeorar.

En tercer lugar, otra oposición común a enseñar a pensar es la creencia de que no es apropiado para todos los estudiantes. Estudios previos muestran que, mientras que muchos profesores y profesoras creen que el objetivo de enseñar a pensar es apropiado para los estudiantes de alto rendimiento, no lo es para los estudiantes de bajo rendimiento, que están teniendo dificultades para aprender, incluso, hechos básicos. Nuestros resultados muestran que la evidencia empírica contradice esta creencia, puesto que se ve que estudiantes de todos los niveles académicos progresan después de participar en las actividades de aprendizaje TSC.

Finalmente, los resultados sugieren que la enseñanza explícita del CME debería llegar a ser un componente permanente de la enseñanza del pensamiento y de la investigación científica, porque es sumamente valiosa para el aprendizaje de los estudiantes en general y para el aprendizaje de los estudiantes de bajo rendimiento en particular. Consecuentemente, se trata de una poderosa herramienta didáctica para ayudar a los estudiantes de bajo rendimiento a que mejoren su capacidad académica y sus logros.

NOTA

Ponencia presentada en el VII Congreso Internacional sobre Investigación en la Didáctica de las Ciencias (Granada, 7 al 10 de septiembre de 2005). Ha sido traducida del inglés por Agustín Adúriz-Bravo

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADEY, P.S., SHAYER, M. y YATES, C. (1989). *Thinking Science: Student and Teachers' Materials for the CASE Intervention*. Londres: MacMillan.
- ADEY, P.S. y SHAYER, M. (1993). An exploration of long-term far-transfer effects following an extended intervention program in the high school science curriculum. *Cognition and Instruction*, 11(1), pp. 1-29.
- ADEY, P.S. y SHAYER, M.J. (1994). *Really Raising Standards*. Londres: Routledge.
- ADEY, P. (1999). *The science of thinking, and science for thinking: A description of cognitive acceleration through science education (CASE)*. Suiza: International Bureau of Education.
- AMERICAN ASSOCIATION FOR THE ADVANCEMENT OF SCIENCE (1993). *Benchmarks for Science literacy*. Washington.
- BLOOM, B.S. (1954). *Taxonomy of Educational Objectives. Handbook 1: Cognitive domain*. Nueva York: Longmans, Green & Co.
- BROWN, A.L., BRANSFORD, J.D., FERRARA, R.A. y CAMPIONE, J.C. (1983). Learning, remembering and understanding, en Mussen, P.H. (ed.). *Handbook of Child Psychology*, Vol 3: Cognitive Development, pp. 77-155. Wiley.
- ENNIS, R.H. (1989). Critical thinking and subject specificity: Clarification and needed research. *Educational Researcher*, 18(3), pp. 4-10.
- GROTZER, T. y PERKINS, D.N. (2000). *A taxonomy of causal models: the conceptual leaps between models and students' reflections on them*. Artículo presentado en la National Association of Research in Science Teaching (NARST), Nueva Orleans.
- KUHN, D. (1999). Metacognitive development, en Balter, L. y Tamis-LeMonda, C.S. (eds.). *Child Psychology, A handbook of Contemporary Issues*. Ann Arbor, MI: Taylor and Francis.
- KUHN, D. (2000a). Metacognitive development. *Current developments in Psychological Science*, 9, pp. 178-181.
- KUHN, D. (2000b). Why development does (and doesn't) occur: Evidence from the domain of inductive reasoning, en Siegler, R. y McClelland, J. (eds.). *Mechanisms of cognitive development: Neural and behavioral perspectives*. Mahwah, NJ: Erlbaum.
- KUHN, D. (2001). How do people know? *Psychological Science*, 2001, pp. 1-8.
- KUHN, D., SCHAUBLE, L. y GARCIA-MILÀ, M. (1992). Cross-domain development of scientific reasoning. *Cognition and Instruction*, 9(4), pp. 285-327.
- KUHN, D., GARCIA-MILÀ, M., ZOHAR, A. y ANDERSON, C. (1995). Strategies of knowledge Acquisition. *Monographs of the Society for Research in Child Development (MSRCD)*.
- KUHN, D. y PEARSALL, S. (1998). Relations between metacognitive knowledge and strategic performance. *Cognitive Development*, 13, pp. 227-247.
- LIN, X. y LEHMAN, J.D. (1999). Supporting learning of variable control in a computer-based biology environment: effects of prompting college students reflect on their own thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(7), pp. 837-858.
- KUHN, D., BLACK, J., KESELMAN, A. y KAPLAN, D. (2000). The development of cognitive skills to support inquiry learning. *Cognition and Instruction*, 18, pp. 495-523.
- MARZANO, R. J., BRANDT, R.S., HUGHES, C.S., JONES, F., PRESSEISEN, B.Z., RANKIN, S.C. y SUHOR, C. (1988). *Dimensions of thinking: A framework for curriculum and instruction*. Alexandria: ASCD.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL (1996). National science education standards. Washington, DC: National Academy Press.
- NUFFIELD CURRICULUM CENTER (2002). 21st Century Science. Nuffield Curriculum Center, University of York, Science Education Group. Revisado el 8 de julio de 2005: <<http://www.21stcenturyscience.org/newmodel/index.asp>>.
- PERKINS, D.N. y SALOMON, G. (1989). Are cognitive skills context-bound? *Educational Researcher*, 18(1), pp. 16-25.
- PERKINS, D. (1992). *Smart Schools- From Training Memories to Training Minds*. Nueva York: The Free Press.
- RESNICK, L. (1987). *Education and Learning to Think*. Washington DC: National Academy Press.
- SCHONFELD, A. (1992). Learning to think mathematically, en Grouws, D.A. *Handbook of Research in Mathematics Teaching and Learning*. Nueva York: MacMillan.
- SCHWAB, J.J. (ed.) (1963). *Biology Teacher's Handbook*. Nueva York: John Wiley & Sons Inc. (1a. ed.); Klinckman, E. (1970, 2a. ed.); Mayer, W.V. (1978, 3a. ed.).
- SIEGLER, R.S. y JENKINS, R. (1989). *How children discover new strategies*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- SIEGLER, R.S. (1996). *Emerging Minds: The process of change in children's thinking*. Oxford: Oxford University Press.
- Qualifications and Curriculum Authority (sitio web revisado en julio de 2005). Science for public understanding. <<http://www.qca.org.uk/index.html>>.
- WHITE, B.Y. y FREDERIKSEN, J.R. (1998). Inquiry, modeling and metacognition: making science accessible to all students. *Cognition and Instruction*, 16(1), pp. 3-118.
- WHITE, B.Y. y FREDERIKSEN, J.R. (2000). Metacognitive facilitation: An approach to making scientific inquiry accessible to all, en Minstrell, J.L. y Van-Zee, E.H. (eds.). *Inquiry into Inquiry learning and Teaching in Science*, pp. 331-370. Washington DC: American Association for the Advancement of Science.

- ZION, M., MICHALSKY, T. y ZEMIRA, R. (2005). The effects of metacognitive instruction embedded within an asynchronous learning network on scientific inquiry skills. *International Journal of Science Education*, 27, pp. 957-983.
- ZOHAR, A. (2004). *Higher order thinking in science classrooms: Students' learning and teachers' professional development*. Dordrecht: Kluwer.
- ZOHAR, A., WEINBERGER, Y. y TAMIR, P. (1994). The effect of the biology critical thinking project on the development of critical thinking. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(2), pp. 183-196.
- ZOHAR, A. y NEMET, F. (2002). Fostering students' knowledge and argumentation skills through dilemmas in human genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 39, pp. 35-62.